

PLANTA DE PRODUCCIÓ DE FREON-13



Mohammed Abajtour

Olalla Natalia Borrue

Joan Casamada

Marta Castillejos

Òscar Molón

Tutor: Josep A. Torà

05 de JUNY del 2015

La recompensa del trabajo bien hecho es la oportunidad de hacer más trabajo bien hecho. (J.E.Salk)

Uno debe trabajar hasta el agotamiento (Franz Joseph)

Los logros de una organización son los resultados del esfuerzo combinado de cada individuo (Vince Lombardi)

Trabajar en equipo divide el trabajo y multiplica los resultados (Anónimo)

Agraïments a:

- Josep A. Torà, per el seu aconsellament, supervisió i implicació a cercar possibles millores a implementar en el projecte.
- A tot el professorat de la Universitat Autònoma de Barcelona, a destacar el professor Carles de Mas, Maria Dolors Benaiges, Teresa Gea i Josep López Santin per a l'adquisició dels coneixements requerits per dur a terme aquest projecte.

1. ESPECIFICACIONS DEL PROJECTE

<i>Sobre MOJMO</i>	5
1. Definició del projecte	6
1.1. Objectius i bases del projecte	6
1.2. Abast del projecte	7
1.3. Localització de la planta	7
1.3.1. Plànol de la parcel·la i paràmetres d'edificació	8
1.3.2. Comunicacions i accessibilitat	10
1.3.3. Climatologia a la regió de la planta	13
1.4. Nomenclatura i abreviacions	14
1.4.1. Àrees de la planta	14
1.4.2. Equips de la planta	14
1.4.3. Fluids de procés i serveis	15
2. Mètodes d'obtenció de CClF_3	16
2.1. Introducció	16
2.2. Rutes de síntesi	17
2.3. Aplicacions del CClF_3	18
3. Descripció del procés de producció	19
3.1. Introducció	19
3.2. Matèries primeres	20
3.3. Catalitzadors	21
3.4. Productes intermedis i subproductes	22
3.5. Procés de producció de CClF_3	24
3.6. Propietats físiques i químiques de CClF_3	24
4. Constitució de la planta	26
4.1. Distribució de les àrees	26
4.2. Planificació temporal	29
4.3. Planificació de personal treballador	32
5. Serveis a la planta	34
5.1. Aigua de xarxa	34
5.2. Fluids tèrmics	34
5.3. Altres fluids	35
5.4. Electricitat	36
5.4.1. Introducció	36

5.4.2. Requeriment d'electricitat per zones	36
5.4.3. Estació transformadora	42
5.4.4. Grups d'electrògens	43
6. Diagrames del projecte	47
6.1. Diagrama de bloc.....	47
6.2. Diagrama de flux	49
7. Balanç de matèria.....	53
8. Possibles millores de la planta.....	60

Sobre MOJMO

L'empresa MOJMO és una planta de producció del FREON-13 situada en el Polígon Industrial 'Gasos Nobles' en la localitat de Sabadell, a més, fruit del procés de producció, també s'ofereix com a segon producte àcid clorhídric al 35% en pes. Aquest procés es realitza a partir d'una reacció de fluoració i una reacció catalítica. MOJMO es preocupa d'obtenir un producte de la màxima qualitat i prioritza la màxima seguretat per als treballadors i una bona política per al medi ambient.

MOJMO també garanteix la capacitat d'innovació i optimització de la planta, per tal de poder ser més competitiu en el mercat i arribar a ser líder internacional en la producció de FREON-13.

Per tal de poder implementar la planta, l'empresa garanteix el compliment de la legislació nacional i internacional per tal de mantenir la confiança amb tots els compradors que necessiten del producte.

A més, MOJMO és una empresa que treballa de manera eficaç i completament segura, degut a la introducció d'un potent sistema de control al llarg de tots els equips presents en el procés de fabricació del FREON-13.

Com ja s'ha esmentat anteriorment, MOJMO és una empresa totalment respectuosa amb el medi ambient, ja que s'encarrega del tractament de residus en la pròpia planta com s'encarrega de contactar amb diferents empreses externes per la gestió d'aquests.

1. Definició del projecte

1.1. Objectius i bases del projecte

L'objectiu a complir del projecte en qüestió és el disseny d'una planta química per la fabricació del clorotrifluorometà, també anomenat FREON-13, CClF_3 o R-13, a partir CCl_4 i HF, estudiant la viabilitat de la construcció i operació d'aquesta.

Aquest projecte ha de ser viable tant a nivell tècnic o de disseny com a nivell econòmic, i ha de ser capaç de complir les normatives i legislacions vigents relacionades amb els impactes mediambientals, que pugui desencadenar el procés de producció, i amb la seguretat requerida a tots els nivells de la planta.

El procés de producció consta de dos reactors catalítics: en el primer es dona la formació de CFC-11 i CFC-12, en presència del catalitzador líquid SbCl_5 , a partir dels reactius CCl_4 i HF, i el en segon reactor es realitza la síntesi del producte desitjat FREON-13. També es forma el HCl com a producte secundari durant el procés.

En aquest projecte, es presenten tots el detalls sobre el disseny i la implantació dels tots els equips de la planta i el documents necessaris per construir i operar aquesta, així com la seva posada en marxa i la seva operació en estat estacionari.

En les bases del projecte, es requereix el disseny de les següents àrees:

- Emmagatzemat de matèries primeres i estació de càrrega i descàrrega.
- Unitat de procés i reacció per la producció de FREON-13.
- Emmagatzemat de producte acabat.
- Àrees de serveis.
- Oficines, laboratoris i vestuaris.
- Àrees auxiliars (aparcament, control d'accessos, contra incendis, depuració d'aigües i gasos).

Les especificacions que s'han tingut en compte a l'hora de dissenyar la planta de producció de FREON-13 han estat:

- Capacitat de producció: 10.000 tones/any de FREON-13.
- Funcionament de la planta: 300 dies/any operatius i 65 dies de parada.

Les 10.000 tones de CClF_3 produïdes seran destinades a la seva venda i es distribuïran en forma de gas líquid mitjançant ampolles de 50 litres de capacitat. El subproducte àcid clorhídric (HCl) obtingut en el procés també es comercialitzarà amb una concentració comercial del 35 %.

1.2. Abast del projecte

La memòria del projecte sobre la planta de producció de FREON-13 inclourà aquests apartats principals:

- Disseny i especificació de tots els equips de procés i les unitats de serveis de la planta.
- Disseny i especificació del sistema de control de totes les àrees de procés per un funcionament eficient de la planta.
- Disseny i especificació del sistema òptim de seguretat i higiene segons les legislacions i normatives vigents per evitar accidents indesitjats a tots els nivells.
- Estudi dels impactes ambientals dels residus en forma de gas, líquid i sòlid; i descripció i avaluació de les unitats de procés necessàries pel seu tractament complint les legislacions i normatives vigents.
- Elaboració detallada de diagrames de procés i d'enginyeria i els plànols d'implementació de la planta.
- Estudi de la posada en marxa i la operació de la planta en continu.
- Anàlisi econòmic per avaluar la viabilitat de la construcció i operació de la planta.

1.3. Localització de la planta

El projecte es realitzarà sobre una parcel·la d'un terreny situat al Polígon Industrial 'GASOS NOBLES' del terme municipal de Sabadell.

En el mapa general que es presenta a continuació, es mostra (en color vermell) la ubicació del terme municipal on es trobarà situada la planta química a realitzar.



Figura 1.3.1. Localització de la planta de producció de FREON-13.

1.3.1. Plànol de la parcel·la i paràmetres d'edificació

A continuació es presenta el plànol de la parcel·la on es construirà la planta dissenyada en el projecte en qüestió i els carrers que la delimiten. La parcel·la dipositada per la implementació de la planta de CFC-13 té una superfície total de 70.095 m².

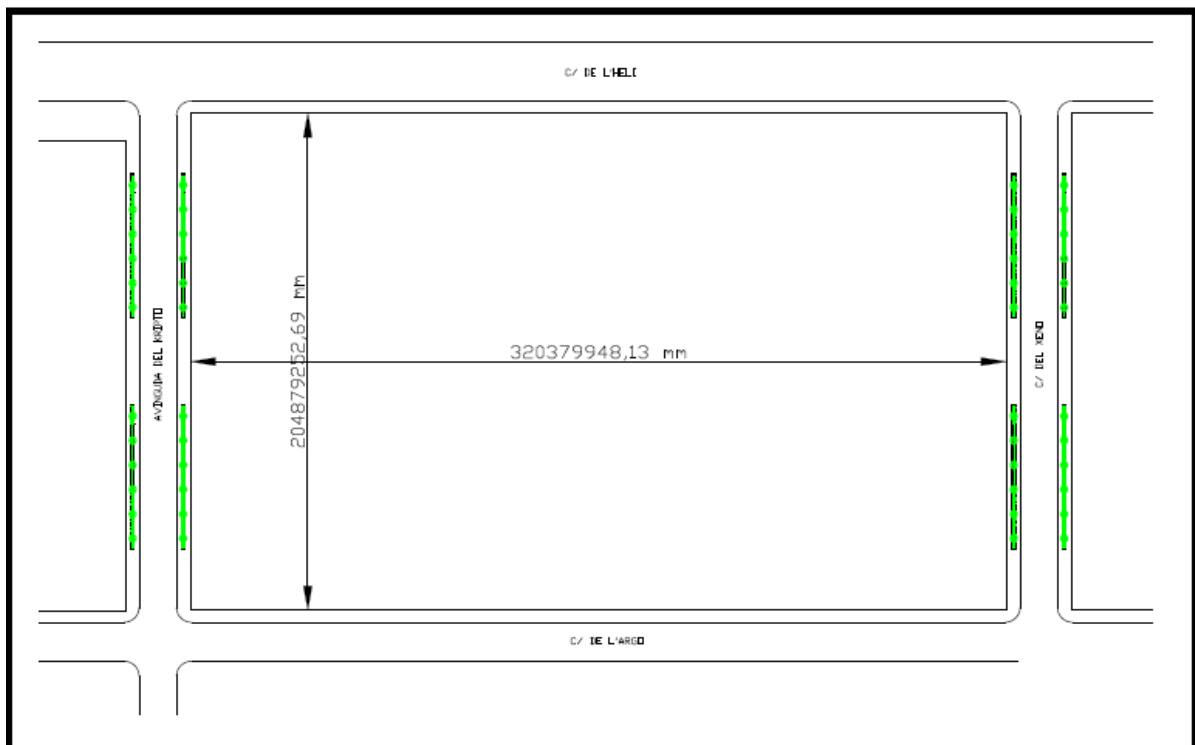


Figura 1.3.2. Plànol de la parcel·la a edificar.

La planta a realitzar haurà de complir la normativa urbanística vigent del Polígon Industrial 'GASOS NOBLES' de Sabadell, tenint en consideració al que fa referència a reculades a vials i veïns, alçada d'edificis, ocupació de la parcel·la i edificació.

Els paràmetres d'edificació que s'han de complir a l'hora de construir la planta es descriuen a continuació:

Taula 1.3.1. Paràmetres d'edificació en el Polígon Industrial 'GASOS NOBLES'.

EDIFICABILITAT	1.5 m² sostre/m² sòl
OCUPACIÓ MÀXIMA DE PARCEL·LA	75 %
OCUPACIÓ MÍNIMA DE PARCEL·LA	20% de la superfície d'ocupació màxima
RECUADES	5 metres a vials i veïns
ALÇADA MÀXIMA	16 metres i 3 plantes excepte en producció justificant la necessitat per el procés
ALÇADA MÍNIMA	4 metres i una planta
APARCAMENTS	1 lloc/150 m ² construïts
DISTÀNCIA ENTRE EDIFICIS	1/3 de l'edifici més alt amb un mínim de 5 metres

1.3.2. Comunicacions i accessibilitat

Les comunicacions i l'accessibilitat al lloc on està situada la planta són fonamentals pel bon funcionament i operació d'aquesta. Una bona xarxa de comunicacions a la planta permet i facilita l'aprovisionament de les matèries primeres i una òptima sortida i distribució del producte acabat.

La planta està situada al terme municipal de Sabadell, ciutat ubicada al centre de la comarca del Vallès Occidental a uns vint quilòmetres de Barcelona aproximadament. El fet de que la planta estigui situada a prop de la ciutat de Barcelona fa que tingui unes vies de comunicacions privilegiades, tant a nivell de la Península Ibèrica com a nivell europeu, i fins i tot amb la resta de països fora del vell continent. Les diferents vies de comunicació i accés a la planta són la xarxa viària, la xarxa ferroviària i el transport marítim i aeri.

- Xarxa viària: el transport per carretera esdevé molt important per l'accés a la ubicació de la planta. Les comunicacions viàries comprenen una àmplia xarxa de carreteres, autovies i autopistes. L'autopista C-58 connecta l'oest de Sabadell tant amb Terrassa i Manresa com amb Barcelona. Una altra autopista important és la AP-7, travessa tot el Vallès Occidental en direcció est-oest i connecta tant amb la comarca de Tarragona, que conté grans indústries petroquímiques i el port marítim més gran d'Espanya; com amb la Comunitat Autònoma de Valencia. La A2/AP2 comunica Barcelona, creuant Sabadell, amb la comarca de Girona i l'estat de França. Altres carreteres que es poden destacar són:
 - N-150
 - C-155
 - B-140
 - C-16
 - C-33



- **Xarxa ferroviària:** al terme municipal de Sabadell, on està situada la planta, hi arriba la línia S2 del Ferrocarrils de la Generalitat de Catalunya (FGC), que comunica la ciutat amb Barcelona; i la línia 4 de Rodalies de Renfe que fa el recorregut de Manresa a Sant Vicenç de Calders i es comunica també amb Barcelona. També es important destacar la existència del Corredor Ferroviari Mediterrani, que és un conjunt de línies ferroviàries paral·leles a la costa de la Mar Mediterrània amb una línia destacable entre Barcelona i Alacant; i representa una bona via de transport de mercaderies a gran velocitat a diferents punts de la Península Ibèrica i amb la resta de països del continent europeu.
- **Transport marítim:** com que la planta està a prop de Barcelona, aproximadament a uns 20 quilòmetres, el Port de Barcelona esdevé essencial per la comunicació marítima del terme municipal on està situada la planta. El Port de Barcelona és la principal plataforma de transport marítim i serveis de Catalunya, i permet la importació i exportació de mercaderies, com poden ser les matèries primeres o serveis, a Europa, Àsia, Amèrica i Àfrica.

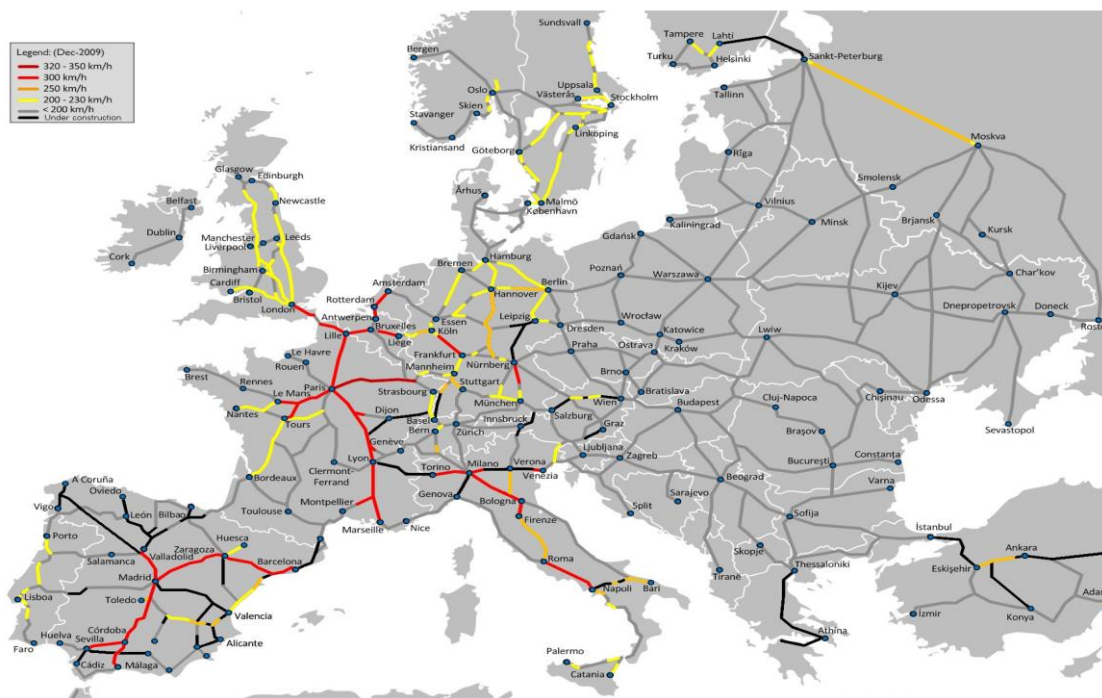


Figura 1.3.2.2. Xarxa de trens que comuniquen Sabadell amb Europa.

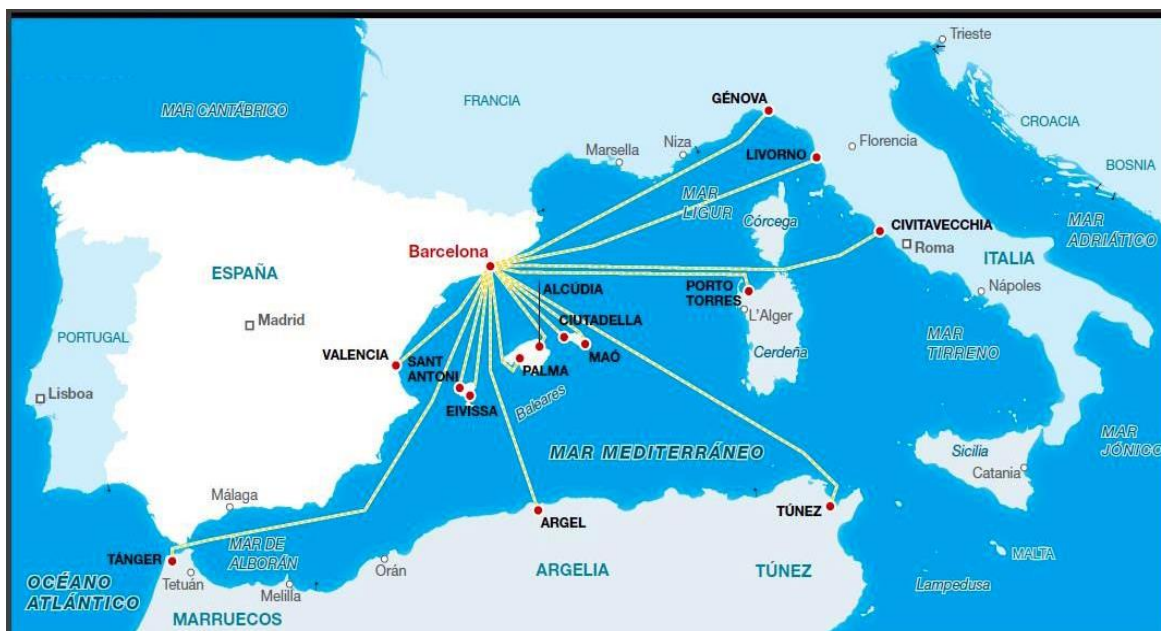


Figura 1.3.2.3. Xarxa de transport marítim de Barcelona que comunica amb Europa i Àfrica.

- Transport aeri: El terme municipal de Sabadell conté un aeroport situat al sud-oest de la ciutat. Disposa d'una pista d'aterratge de 1.050 m a 148 m d'altura sobre el nivell del mar, i a més de ser un important centre d'operacions d'aviació general de l'Estat Espanyol, per el transport de diversos tipus de mercaderies. A 40 quilòmetres,

circulant per la AP-7, trobem l'aeroport del Prat de Barcelona, que és el més important pel transport des de Catalunya a la resta de l'Estat Espanyol i a Europa.

1.3.3. Climatologia a la regió de la planta

L'anàlisi de la climatologia de la zona geogràfica on es troba ubicada la planta química esdevé fonamental abans de la construcció de la planta. El terme municipal de Sabadell, on està situada la planta, té un clima mediterrani, concretament un clima mediterrani prelitoral central. Els estius solen ser força calorosos, amb unes mitjanes de 28 °C de temperatura aproximadament als mesos de juliol i agost, i el hiverns bastant frescos, en que la temperatura es situa entre 3 i 5 °C al mes de gener.

La precipitació mitjana a la ciutat és d'uns 611 mm l'any, sent l'estació més plujosa la tardor i sent els mesos de setembre i octubre els mesos més plujosos. Durant l'any sol haver aproximadament 77 dies de pluja, 5 dies de neu, així com 40 dies de tempestes amb trons. La humitat mitjana a l'aire és del 67%, arribant a una màxima del 72% al més de desembre i una mínima de 64% al juliol. Predominen els vents de component oest.

A continuació es mostra un diagrama de temperatura de Sabadell, que descriu l'evolució de la temperatura al llarg de l'any:

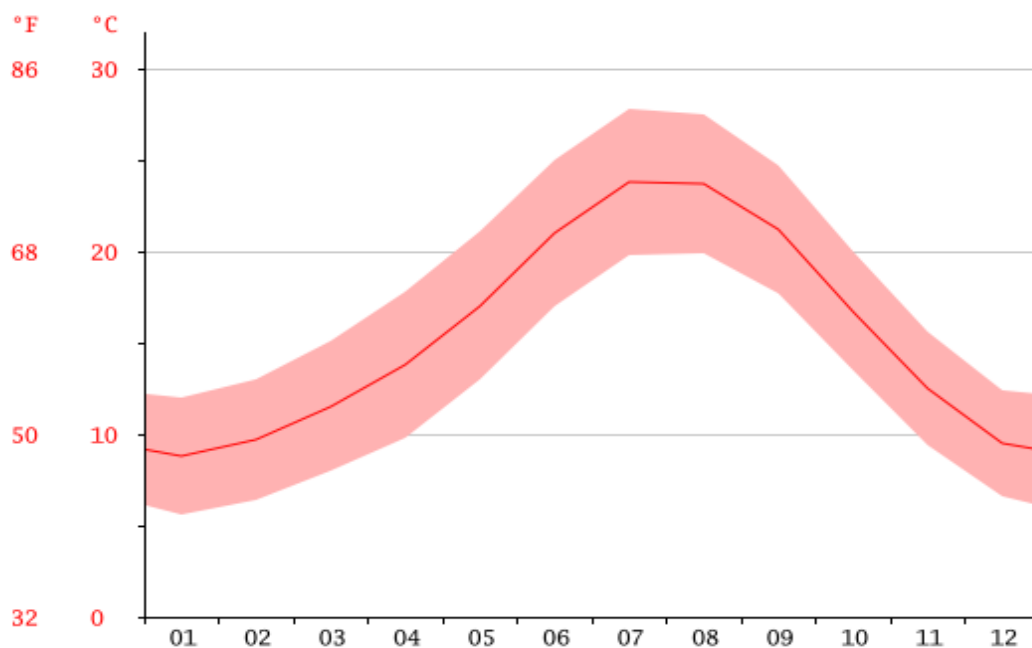


Figura 1.3.3.1. Gràfic de l'evolució de la temperatura al llarg de l'any a Sabadell.

1.4. Nomenclatura i abreviacions

La nomenclatura referida al conjunt dels equips utilitzats en el projecte, així com els diferents fluids de procés i serveis i les àrees de la planta, es resumeix a continuació:

1.4.1. Àrees de la planta

Taula 1.4.1.1. Nomenclatura de les àrees de la planta.

Àrea	Definició
A-100	Magatzem de matèries primeres i productes
A-200	Reactor de producció de R-12
A-300	Separació de R-12 i producció d'HCl comercial
A-400	Reactor de producció de R-13
A-500	Purificació del R-13
A-600	Serveis de la planta
A-700	Control
A-800	Contra incendis
A-900	Tractament de residus
A-1000	Laboratoris i vestuaris
A-1100	Oficines i menjador
A-1200	Pàrquing
A-1300	Ampliació
A-1400	Càrrega i descàrrega

1.4.2. Equips de la planta

Taula 1.4.2.1. Nomenclatura dels equips de procés i serveis de la planta.

Abreviació	Equip
CA	Columna d'absorció
AG	Agitador
BC	Balança per camions
C	Condensador
CD	Columna destil·lació
CO	Compressor
CH	Chiller d'oli tèrmic
CT	Caldera d'oli tèrmic
TR	Torre de refrigeració
E	Bescanviador de calor
ET	Estació transformadora
P	Bomba
R	Reactor

RB	Reboiler
T	Tanc d'emmagatzematge
TP	Tanc pulmó
TC	Tanc condensats
V	Vàlvula
VE	Ventilador
SB	Scrubber
D	Decantador
AD	Adsorció

1.4.3. Fluids de procés i serveis

Taula 1.4.3.1. Nomenclatura dels fluids de procés i serveis de la planta.

Abreviació	Component
C ₁	Pentaclorur d'antimoni (SbCl ₅)
C ₂	Triclorur d'alumini (AlCl ₃)
CCl ₄	Tetraclorometà
HCl	Àcid clorhídric
HF	Àcid fluorhídric
OT	Oli tèrmic
R11	Triclorofluorometà o freon 11 (CCl ₃ F)
R12	Diclorodifluorometà o freon 12 (CCl ₂ F ₂)
R13	Clorotrifluorometà o freon 13 (CClF ₃)
Sg	Gel de sílice
W1	Aigua potable
W2	Aigua descalcificada
W3	Aigua desionitzada
W4	Aigua per incendis
N	Nitrogen
G	Gas natural
CO ₂	Diòxid de carboni per incendis
NH ₃	Amoníac de chiller
AC	Aire comprimit
NOV	Novec 1230

2. Mètodes d'obtenció de CClF₃

2.1. Introducció

El clorotrifluorometà, CFC-13 o Freon-13, és un compost no corrosiu i no inflamable, que pertany a la família dels clorofluorocarbonis (CFCs). També és considerat un halometà mixt. S'utilitza generalment en la indústria química com a refrigerant, no obstant, el seu gran potencial de destrucció de la capa d'ozó genera dubtes sobre el seu ús, i fa que s'investiguin millors alternatives que no posin en perill el medi ambient.

Els clorofluorocarbonis (CFCs) són compostos formats per carboni, fluor, i clor amb petites quantitats d'hidrogen o sense. Els clorofluorocarbonis que contenen dos o més àtoms de fluor en un àtom de carboni es caracteritzen per una extrema inèrcia i estabilitat química. Les seves volatilitat i densitat són més grans que les dels seus corresponents hidrocarburs.

Aquests compostos es van sintetitzar per primera vegada l'any 1892 a Bèlgica. Però no va ser fins l'any 1928 que els químics de la General Motors van descobrir les excel·lents propietats com a refrigerants del CFC-13 i CFC-12, substituint d'aquesta manera al SO₂ i al CH₃Cl que eren altament tòxics.

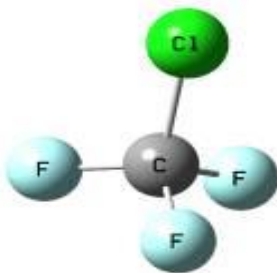


Figura 2.1.1. Fórmula molecular del CFC-13.



Figura 2.1.2. Recipients que contenen Freon-13.

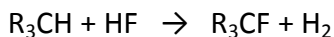
2.2. Rutes de síntesi

La síntesi dels CFCs es duu a terme, generalment, mitjançant la fluoració de compostos organoclorats, obtinguts per la cloració del hidrocarbur corresponent. Els processos de fluoració són generalment catalítics, emprant com a catalitzadors halurs metàl·lics d'antimoni (Sb), Crom (Cr) i Alumini (Al) i introduint a la vegada HCl. La selectivitat als diferents productes que es poden obtenir s'aconsegueix variant les condicions de pressió i temperatura.

En el procés de síntesi dels CFCs (com CFC-11, CFC-12, HFC-125 i entre d'altres), els hidrògens dels alcans (hidrocarburs) poden ser parcial o completament reemplaçats per fluor durant el procés de fluoració. Els alcans que són parcialment fluorats s'anomenen hidrofluorocarbonis (HFCs) i els derivats completament fluorats reben el nom de perfluorocarbonis (PFCs). D'altra banda, els alcans on els seus hidrògens són substituïts per fluor i clor s'anomenen clorofluorocarbonis (CFCs) o hidroclorofluorocarbonis si la substitució dels hidrògens és incompleta.

Per la obtenció dels HFCs i PFCs podem trobar les següents rutes de síntesi:

- Procés de Simons: és un mètode de fluoració electroquímica basat en la electròlisi d'una solució d'un compost orgànic en una dissolució de HF. Es pot descriure per la següent reacció:



En el curs d'una síntesi típica, aquesta reacció es produeix una vegada per cada enllaç de C-H en el precursor. El potencial de la cel·la es manté entre 5-6 V i es solen utilitzar ànodes de níquel i càtodes d'acer o níquel. El procés de Simons s'utilitza per la producció d'amines perfluorades, èters, àcids carboxílics y àcids sulfònics.

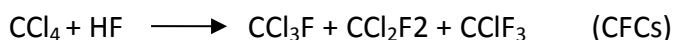
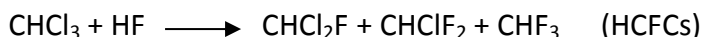
- Procés de Philips: és un mètode semblant al procés de Simons, però s'empra típicament per la preparació de hidrocarburs volàtils i hidrocarburs clorats. En aquest procés, la fluoració electroquímica es duu a terme amb ànodes porosos de grafit en un electròlit de fluorur de potassi fos en fluorur d'hidrogen. El compost orgànic s'alimenta a través de l'ànode porós que porta al bescanvi de fluor amb hidrogen, però no clor.

- Altres mètodes: La fluoració electroquímica també es pot portar a terme en medis orgànics, utilitzant per exemple sals orgàniques de fluorur i acetonitril com a dissolvents. En molts casos, l'acetonitril s'omet, i el dissolvent i l'electròlit són la barreja de trietilamina i HF. Els productes representatius d'aquest mètode són el fluorobenzè (a partir de benzè) i 1,2 - difluoroalqué (a partir d'alquens).

El mètode comercial més important per la fabricació dels CFCs i HCFCs consisteix en la successiva substitució de clorurs per fluorurs utilitzant HF. Aquest mètode es pot realitzar en dues vies:

- Procés en fase líquida: mètode tradicional d'obtenció de CFCs que utilitza com a catalitzadors SbF_5 o una mescla de SbF_3 i clor.
- Procés en fase vapor: és un procés continu que emprà HF en estat gasós i en presència de catalitzadors com crom heterogeni, ferro o catalitzadors d'alúmina fluorats.

En totes dues vies de síntesi, els materials de partida generalment utilitzats per a la producció dels clorofluorocarbonis solen ser el tetraclorur de carboni (CCl_4), cloroform i hexacloroetà. El grau d'intercanvi de clor pot ser controlat variant la concentració de HF, el temps de contacte o la temperatura de reacció. Algunes reaccions del mètode de fluoració són:



2.3. Aplicacions del CClF_3

La producció mundial estimada de importants CFCs industrials va disminuir considerablement entre els anys 1986 i 1991, un 58 % de decreixement aproximadament, com a conseqüència de la seva progressiva substitució per altres alternatives menys contaminants. Per exemple, la producció de CFC-11 va passar 415.000 a 265.000 tones, i la de CFC-12 va disminuir de 441.000 fins a 259.000 tones entre 1986 i 1991. La fabricació de CFC-11, CFC-12 i CFC-13 representen més del 95 % de la producció mundial total.

Els CFCs en general i el CClF_3 en particular, tenen diverses aplicacions com a:

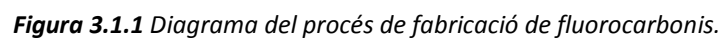
- Refrigerants: la majoria dels compostos CFCs es destinen a la indústria de la refrigeració. Això s'explica perquè varen ser creats per satisfer la demanda de refrigerants que no presentessin cap perill per l'home. Són en definitiva, el producte d'un intens i complet programa d'investigació, enginyeria i aplicacions.
- Propel·lents: el desenvolupament de productes en forma de aerosol s'ha verificat entorn als compostos CFCs. La seva estabilitat, no inflamabilitat, baixa toxicitat i absència de color, els fan ideals per ser usats com a propel·lents.
- Extintors d'incendis: la gran eficàcia, estabilitat i baixa toxicitat de certs compostos CFCs són característiques que els fan interessants com a extintors d'incendis. Les propietats físiques interessants per aquesta aplicació i que tenen aquests compostos són: elevada densitat en líquid i en vapor, baix punt d'ebullició i baix índex de viscositat.
- Fluids dielèctrics: s'ha trobat una utilització de la relativa elevada potència dielèctrica dels CFCs, en la manufactura de aparells dielèctrics de elevat voltatge.
- Altres aplicacions: l'estudi de l'aerodinàmica ha progressat notablement per l'ús del vapor de CFCs en els assajos en túnels aerodinàmics, en els que la elevada densitat y estabilitat tèrmica d'aquests compostos han donat grans serveis.

3. Descripció del procés de producció

3.1. Introducció

El procés de producció escollit per la fabricació del producte d'interès de la nostra planta, el CClF_3 , consisteix en dues etapes consecutives: en la primera etapa es duu a terme una reacció catalítica de fluoració del tetraclorur de carboni en fase líquida; i en la segona es dona la conversió catalítica en fase gas del fluorocarboni intermedis (CFC-12), format en la primera reacció, en CFC-13, que és el producte desitjat.

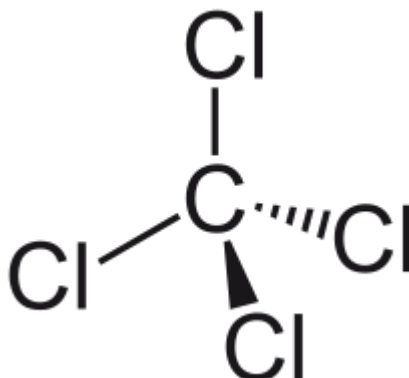
A continuació es mostra un diagrama representatiu d'un procés industrial de fabricació de fluorocarbonis en fase gas:



3.2. Matèries primeres

Compost químic sintètic, organoclorat, tòxic i no inflamable. És un líquid incolor amb un olor dolça que es detectable a nivells baixos. Es sintetitza a partir de metà (CH_4) i clor ($\text{CH}_4 + 4 \text{Cl}_2 \rightarrow \text{CCl}_4 + 4 \text{HCl}$). S'utilitza en la indústria com a bon líquid refrigerant, agent de neteja, agent extintor de fosc i entre d'altres aplicacions. Quan es degrada forma substàncies químiques que poden ser perjudicials per la capa d'ozó. El

tetraclorur de carboni és no polar i la seva geometria és simètrica. La seva fórmula molecular és CCl_4 :



- **Àcid fluorhídric:**

Solució aquosa de fluorur d'hidrogen, que està compost per un àtom de d'hidrogen unit a un altre de fluor. És un líquid incolor amb un olor irritant fort, que s'utilitza en química orgànica en l'obtenció de compostos orgànics fluorats, com catalitzador en petroquímica, per obtenir criolita (Na_3AlF_6) artificial que s'utilitza en l'obtenció de l'alumini, entre d'altres. Es tracta d'una substància irritant, tòxica i corrosiva; que s'obté habitualment per acció d'àcid sulfúric sobre fluorur càlcic o fluorita, CaF_2 : ($\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{CaF}_2 \rightarrow \text{CaSO}_4 + 2 \text{HF}$). La seva fórmula molecular és HF :

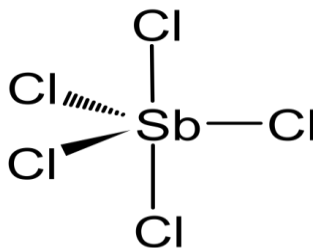


3.3. Catalitzadors

- **Pentaclorur d'antimoni:**

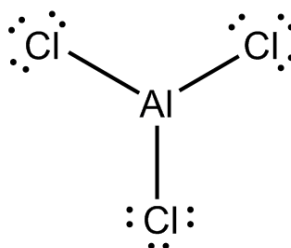
És un líquid incolor, oliós i càustic i soluble en solvents orgànics. A causa de la seva tendència a hidrolitzar l'àcid clorhídric, el pentaclorur d'antimoni és una substància altament corrosiva i carbonitza plàstics no fluorats. Es forma passant gas clor en triclorur d'antimoni fos: ($\text{SbCl}_3 + \text{Cl}_2 \rightarrow \text{SbCl}_5$). S'utilitza principalment com a

catalitzador de polimerització i per a la cloració de compostos orgànics. La seva fórmula molecular és SbCl_5 :



- **Clorur d'alumini:**

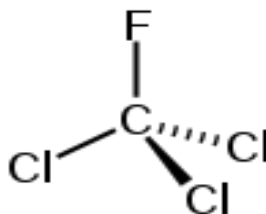
Compost inorgànic format per clor i alumini. És un sòlid blanc, tot i que presenta un color groguenc quan està impurificat amb tricolorur de ferro. El sòlid té un baix punt de fusió i punt d'ebullició. El clorur d'alumini és probablement l'àcid de Lewis més utilitzat i un dels més forts. S'utilitza com a catalitzador en nombroses reaccions en química orgànica, com la reacció de Friedel-Crafts. Es produeix tractant alumini amb clor gas o clorur d'hidrogen a una temperatura d'entre 650 i 700°C. La seva fórmula molecular és AlCl_3 :



3.4. Productes intermedis i subproductes

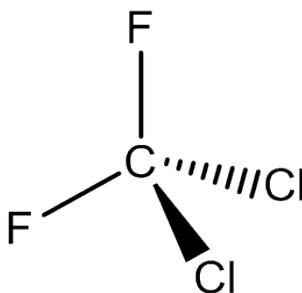
- **Triclorofluorometà:**

Clorofluorocarbó que pertany a la família dels CFCs, també anomenat Freon-11, CFC-11 o R-11. És un gas pesat, no explosiu, insoluble en aigua, que es caracteritza per un alt potencial d'esgotament de la capa d'ozó. S'aplicava principalment com a refrigerant industrial, encara que també s'utilitza a agent de neteja. Es sintetitza per fluoració de hidrocarburs clorats en presència d'un catalitzador com el SbCl_5 . La seva fórmula molecular és CCl_3F :



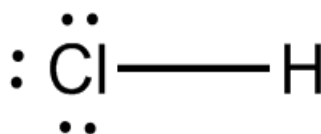
▪ **Diclorodifluorometà:**

És un gas incolor, no corrosiu i inflamable que pertany al grup dels CFCs. Es pot preparar per reacció del tetraclorur de carboni amb fluorur d'hidrogen en presència d'una quantitat catalítica de pentaclorur d'antimoni: $(\text{CCl}_4 + 2\text{HF} \rightarrow \text{CCl}_2\text{F}_2 + 2\text{HCl})$. S'empra en circuits de refrigeració, fabricació d'escumes polimèriques i com a gas propulsor d'esprais. La seva fórmula molecular és CCl_2F_2 :



▪ **Àcid clorhídric:**

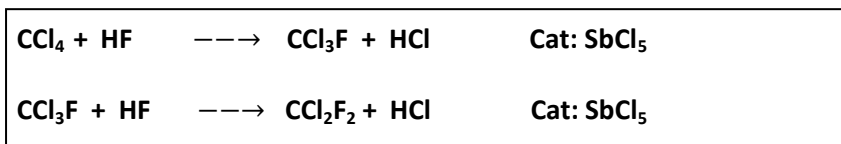
És un àcid fort format per clor i per hidrogen. A la temperatura ambient és un gas, incolor, però en presència d'humitat forma una mena de boira perquè és molt higroscòpic, per això es coneix comercialment com a sulfumant. És tòxic i molt corrosiu i amb metalls forma clorurs. Es pot produir a partir de l'addició d'àcid sulfúric a la sal comuna, NaCl: $(2 \text{NaCl} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Na}_2\text{SO}_4 + 2 \text{HCl})$. També es formen gran quantitats de àcid clorhídric en les reaccions orgàniques de cloració de les substàncies orgàniques amb clor elemental. S'utilitza sobretot com a àcid barat, fort i volàtil. També té altres aplicacions com a desincrustant de residus de calç, en la producció de gelatina o en la síntesi de clorurs orgànics. La seva fórmula molecular és HCl:



3.5. Procés de producció de CClF₃

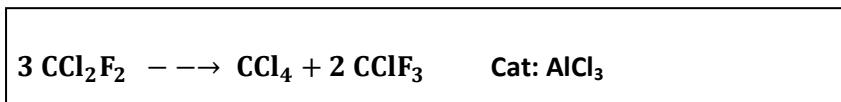
El procés de producció està format per dues etapes catalítiques:

- 1) La fluoració de tetraclorur de carboni (CCl₄) a partir de àcid fluorhídric (HF), en presència de SbCl₅ com a catalitzador en forma líquida:



En aquesta etapa, es produeixen dues reaccions catalitzades en sèrie per la formació dels productes intermedis CFC-11 i CFC-12. Les dues reaccions són endotèrmiques i es donen en fase líquida. El HF anhidre i en excés, activa el catalitzador SbCl₅ permetent un intercanvi de fluorurs entre el catalitzador activat (SbClF₄) i els reactius CCl₄, també anhidre, i el CCl₃F.

- 2) Conversió catalítica del CFC-12, en presència de AlCl₃ com a catalitzador sòlid:



Aquesta última etapa consisteix en convertir el refrigerant CFC-12, obtingut en la primera etapa del procés de producció, a través del catalitzador sòlid AlCl₃, en el refrigerant CFC-13, producte d'interès. La reacció es dona en fase gas i és exotèrmica. Els reactius CFC-12 ha de ser anhidre, per evitar que el catalitzador es deteriori per hidròlisi.

3.6. Propietats físiques i químiques de CClF₃

És un compost no corrosiu, no inflamable i no es gens soluble en aigua, però sí ho és en solvents com l'èter i l'etanol.

A continuació es presenten les propietats fisicoquímiques del CClF₃:

Taula 3.6.1. Nomenclatura dels fluids de procés i serveis de la planta.

Estat	Gas
Color	Incolor
Olor	Similar a l'èter
Pes molecular (g/mol)	104,46
Punt de fusió (°C)	-181
Punt d'ebullició (°C)	-81,48
Temperatura crítica (°C)	28,85
Pressió crítica (bar)	38,79
Densitat crítica (Kg/m ³)	582,88
Punt triple (°C)	-181,15
Pressió de vapor a 20 °C (MPa)	3,18
Cp (kJ/mol·K)	0,07
Viscositat (P)	1,32E-04
Conductivitat tèrmica (mW/m·K)	10,72
pH	No hi ha informació disponible
Inflamabilitat (sòlid, gas)	No hi ha informació disponible
Temperatura d'autoignició (°C)	No hi ha informació disponible
Punt d'inflamació (°C)	No hi ha informació disponible

4. Constitució de la planta

4.1. Distribució de les àrees

➤ Àrea 100: Magatzem de matèries primeres i productes

En aquesta zona de la planta s'emmagatzemen les matèries primeres que requereix el procés de producció i els productes finals que es comercialitzaren. En la regió de magatzem de matèries primeres es disposa de 3 tancs de HF de 60 m³ cadascú, 4 tancs iguals de CCl₄ de 70 m³. En la zona de magatzem de productes trobem 4 tancs de 200 m³ de capacitat cadascú del producte secundari HCl i només 1 tanc del producte desitjat CClF₃ amb un volum de 82,6 m³. Hi haurà un total de 3 cubetes en aquesta àrea, una cubeta per cada tipus de substància.

➤ Àrea 200: Reactor de producció R-12

En aquesta àrea és on es produeixen les dues primeres reaccions requerides per la producció del refrigerant CFC-13. Són dues reaccions que es donen en sèrie en un reactor continu de tanc agitat en presència del catalitzador SbCl₅, on reaccionen el HF i CCl₄ en la primera reacció per donar CFC-11 i HCl, i tot seguit, el CFC-11 produït reacciona amb el HF per generar el CFC-12 i HCl. El reactor està dotat d'una camisa de mitja canya per aportar la calor necessària per les reaccions i disposa d'un agitador tipus hèlix al seu interior.

➤ Àrea 300: Separació de R-12 i producció d'HCl comercial

A l'àrea 300 es duu a terme principalment la separació de CFC-12 d'altres components produïts en el primer reactor, per tal d'enviar-lo al segon reactor del procés. Consta de dues columnes de destil·lació de rebliment totes dues i una columna d'absorció també de rebliment. En la primera columna de destil·lació es fa una rectificació multicomponent per separar el Freon-13 i HCl de la resta de components resultants del corrent de sortida del primer reactor. La segona columna de destil·lació es dona la separació del CFC-13, que surt per cues pur, i HCl, que surt per caps i que és destinat a la columna d'absorció. En la columna d'absorció es fa l'absorció de HCl pur en aigua per obtenir un HCl comercial al 35%.

➤ Àrea 400: Reactor de producció de R-13

En aquesta àrea es realitza la reacció principal de producció de Freon-13, en la que es converteix el producte intermediari CFC-12, generat en el primer reactor, en el producte desitjat, CFC-13, i CCl₄, que es recircula al primer reactor. El reactor on es produeix aquesta

reacció és un reactor continu flux pistó, on el seu corrent de sortida s'envia a l'etapa de purificació.

➤ **Àrea 500: Purificació del R-13**

Aquesta és l'àrea de purificació del Freon-13. Està formada per dues columnes de destil·lació tipus rebliment. En la primera columna es fa una rectificació multicomponent on separem el producte CFC-13 del CCl_4 , que es recircula al primer reactor, i el CFC-12 que no ha reaccionat, que es retorna al segon reactor. En la segona columna de destil·lació es duu a terme la separació de CFC-12, que es condueix a la segona destil·lació per ser introduït al segon reactor, del CCl_4 , que es recircula al primer reactor ja que és un reactiu de les primeres reaccions d'aquest. En aquesta zona és on es realitza l'acabat el producte final, el CFC-13, on s'embotellará i es destinarà a la seva venda.

➤ **Àrea 600: Serveis de planta**

En aquesta àrea es poden trobar els fluids de serveis com l'aigua, oli tèrmic, nitrogen, entre d'altres, i tots els equips que es requereixen en la planta per subministrar les necessitats que té el procés de producció. Es poden trobar equips de serveis en aquesta zona com chiller d'oli tèrmic, caldera d'oli tèrmic i torre de refrigeració.

➤ **Àrea 700: Control**

Aquesta àrea es destina al control del procés de producció. Els enginyers de control poden seguir el comportament de les variables controlades com la temperatura, pressió o nivell dels diferents equips de la planta, des de les pantalles de sala central de control. Els operaris, que han d'estar les 24 hores del dia a la planta, són els encarregats de modificar o supervisar qualsevol moviment del sistema de control.

➤ **Àrea 800: Contra incendis**

Aquesta zona està dedicada per al control i l'apagament d'incendis que es puguin donar en les instal·lacions de la planta. En l'àrea de procés s'utilitza CO_2 per apagar possibles focs que es produeixin i en altres instal·lacions de la planta s'utilitza aigua com a fluid contra incendis.

➤ **Àrea 900: Tractaments de residus**

En aquesta àrea es realitza el tractament dels residus líquids, sòlids o gasosos que generi la planta. Aquesta zona es destina per tractar els corrents de vent de la planta.

d'emmagatzematge de HF, que es tracten amb un sistema de rentat amb scrubber, i els corrents de venteig del tanc de Freon-13, que es tracten amb absorció sobre actiu. Els altres residus com els catalitzadors esgotats SbCl_5 i AlCl_3 , els corrents de venteig d'altres tancs, el corrent d'aigua amb àcid clorhídric, entre d'altres; s'envien a un agent extern de tractament de residus.

➤ **Àrea 1000: Laboratoris i vestuaris**

És l'àrea formada per els laboratoris on es realitzen els controls de qualitat, per assegurar-se de les condicions òptimes de producte final, i tots els experiments o mesures que el procés requereixi. També hi ha en departament de I+D on s'investiguen noves alternatives per millorar la eficiència i la rendibilitat del procés de producció. La zona de vestuaris està dedicada als treballadors per a canviar-se de roba.

➤ **Àrea 1100: Oficines i menjador**

En la zona d'oficines és on es troben tots el despatxos i les sales de reunions on es realitza la gestió i les tasques administratives de l'empresa. Aquesta àrea està habilitada d'un menjadors, sales d'estar i altres instal·lacions per la comoditat del personal treballador.

➤ **Àrea 1200: Pàrquings**

L'àrea de pàrquings està formada per les zones destinades al aparcament dels vehicles privats dels treballadors de la planta i dels camions que transporten, carreguen i descarreguen les matèries primeres que necessita el procés de producció i els productes finals.

➤ **Àrea 1300: Ampliació**

Aquesta àrea està reservada per possibles ampliacions en totes las àrees de la planta. En les investigacions sobre millores en el procés de producció o en l'augment de demanda del producte, es poden requerir ampliacions sobretot en l'àrea de procés.

➤ **Àrea 1400: Càrrega i descàrrega**

En aquesta zona es fa la càrrega a través d'un sistema de bombeig de les matèries primeres, HF i CCl_4 , des de els camions fins al tancs situats a la zona de emmagatzemat de matèries primeres i productes. També es realitza la descàrrega dels productes HCl i Freon-13, del seus respectius tancs d'emmagatzematge als camions que els transportaran per la seva distribució.

4.2. Planificació temporal

És necessària una bona planificació del projecte per portar-lo a terme de forma ordenada i complir els terminis establerts per la seva implantació. Es realitza una llista amb totes les activitats, que es duran a terme durant el procés de construcció i operació de la planta, i la seva durada. És fonamental una bona organització i comunicació entre els treballadors en totes les àrees de la planta per respectar els temps previstos per cada tasca.

S'utilitzarà el programa OpenProject per realitzar un diagrama de Gant, que ens permetrà visualitzar de forma clara la planificació del temps de la planta. En el diagrama es detalla la durada de les diferents activitats realitzades des de la construcció fins al final del procés de producció de la planta i es poden identificar les relacions i dependències entre les diferents tasques.

El diagrama de Gant que es presenta a continuació, s'ha de seguir la següent llegenda:

- **Camí crític**



NÚMERO	TASCA	PRECEDENT	DURACIÓ (mesos)
1	Llicència d'obres/activitats	0:1	6
2	Neteja terrenys, excavacions, cimentació	0:1	2
3	Instal·lació suports, plataformes, escales	2:3	2
4	Instal·lació baranes	3:4	0,5
5	Instal·lació d'equips	3,4:5	5
6	Calibratge d'equips	5:6	1,5
7	Instal·lació canonades prefabricades	5:7	3
8	Instal·lació canonades de procés	3,4:8	5
9	Connexió canonades-equip	6,8:9	3
10	Canonades de serveis	4:10	4
11	Connexió canonades-serveis	10:11	3
12	Instal·lació instrumentació	3,4:12	5
13	Connexió instrumentació-equip	12:13	3
14	Instal·lació elèctrica	3,4:14	5
15	Connexió electricitat-equip	14:15	3
16	Aïllament d'equips	6:16	1,5
17	Aïllament de canonades	7:17	1,5
18	Prova d'equips	1-17:18	1,5
19	Pintura	1-17:19	1,5
20	Neteja	1-17:20	1
21	Posada en marxa	1-20:21	0,5

Taula 4.2.1. Procedència i duració de les diferents tasques de la construcció de la planta.



Figura 4.2.1. Diagrama de Gantt per a les diferents tasques per a la construcció de la planta.

4.3. Planificació de personal treballador

La planta de fabricació de CClF_3 estarà en funcionament durant 300 dies a l'any i 24 hores al dia, reservant els altres 65 dies per la parada per realitzar manteniment i neteja.

Els operaris de la planta treballaran un total de 40 hores setmanals de dilluns a divendres. Per disposar d'operaris a la planta tot el dia, hi haurà 3 grups de 5 treballadors que faran tres torns rotatius: un al matí de 8:00 a 16:00, un a la tarda de 16:00 a 24:00 i un altre de nit de 24:00 a 8:00. Els cap de setmana també hi haurà els mateixos torns, però amb uns altres 3 grups.

Els treballadors en oficines, tècnics, caps de secció, directius, administratius, personal de laboratori, personal de recursos humans y màrqueting treballaran 40 hores a la setmana en horaris i torns específics per cada càrrec. Tots els treballadors tindran una parada de 1 hora per dinar.

A la planta hi haurà els següents càrrecs:

- Directius: són els màxims responsables del bon funcionament de la planta i tenen el paper de dirigir i gestionar la empresa, amb la col·laboració dels caps de secció.
- Caps de secció: en aquest grup de treball es troben els enginyers de processos químics, enginyers de control, enginyers de manteniment, caps de producció, encarregats de seguretat i higiene i especialistes en altres àrees de la planta química.
- Operaris: són el encarregats de modificar o revisar qualsevol moviments dels equips de la planta. Realitzaran tasques de manteniment i operació dels diferents equips del procés de producció, sota la supervisió del cap de la planta.
- Administratius: són encarregats del departament de recursos humans i porten a terme totes les múltiples gestions administratives en les oficines.
- Màrqueting i comptabilitat: són els encarregats de gestionar la comptabilitat i dirigir els processos comercials de l'empresa.
- Tècnics de laboratori: la seva tasca es realitzar un control diari o periòdic de la qualitat del producte, realitzar experiments i fer mesures de variables que requereixi el procés de producció, investigar millores en el equips i les operacions de la planta, etc.
- Personal de seguretat: són el encarregats de la vigilància de les instal·lacions de la planta. Normalment vigilen l'accés a la planta.

A continuació es mostra una taula amb les diferents càrrecs, el seu horari, els seus torns de treball i el nombre:

Taula 4.3.1. El nombre de treballadors de la planta de producció de CFC-13 i el seu horari de feina.

Càrrecs	Torns de treball	Horaris	Nombre de treballadors
Directius	1	8:00 a 16:00	2
Caps de secció	3	8:00 a 16:00	6
		16:00 a 24:00	
		24:00 a 8:00	
Operaris	3	8:00 a 16:00	30
		16:00 a 24:00	
		24:00 a 8:00	
Administració	1	8:00 a 16:00	3
Màrqueting i comptabilitat	1	8:00 a 16:00	5
Tècnics de laboratori	2	8:00 a 16:00	8
		16:00 a 24:00	
Personal de seguretat	3	8:00 a 16:00	3
		16:00 a 24:00	
		24:00 a 8:00	

5. Serveis a la planta

A continuació s'explicaran totes aquelles necessitats de serveis que requereixi la planta pel seu bon funcionament i operació i per satisfer el procés de producció. Tots els fluids requerits i els equips de serveis s'han de analitzar àmpliament i optimitzar ja que suposen un cost econòmic molt elevat per l'empresa.

5.1. Aigua de xarxa

- **Aigua potable**

Aquest tipus d'aigua és el destinat per la zona d'oficines, lavabos, dutxes, dutxes de seguretat, estacions de rentat ulls, laboratoris... A més, és l'aigua pel propi consum dels treballadors de l'empresa.

- **Aigua descalcificada**

L'aigua descalcificada s'utilitza en la torre de refrigeració per refredar l'oli tèrmic, sent l'opció més adequada per evitar possibles danys en la torre. A més és el tipus d'aigua escollida per netejar els equips de la planta un cop feta la parada de planta per la neteja i manteniment. Per tal de descalcificar l'aigua s'instal·la una descalcificadora de l'aigua de xarxa per tal de treure el calci i poder emmagatzemar-la als tancs d'aigua descalcificada.

- **Aigua desionitzada**

Per l'absorció de HCl pur s'utilitza aigua desionitzada per produir una solució d'HCl al 35% per poder-lo comercialitzar, l'aigua descalcificada es desionitza i seguidament passa a la columna d'absorció de l'àcid clorhídric.

5.2. Fluids tèrmics

- **Oli tèrmic**

És el fluid utilitzat per el sistema de refrigeració i escalfament de tots el equips de la planta que ho necessitin. S'ha escollit el tipus oli tèrmic DOWTHERM-J donat que ens permet treballar a un rang de temperatures òptimes pel nostre procés de producció.

- **Amoníac**

L'amoníac, NH_3 , és el fluid escollit per la refrigeració del oli tèrmic de chiller, ja que és el més adequat per les condicions de temperatures que es necessiten per refredar l'oli, al voltant de $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$.

- **Aigua per incendis**

La part més important de l'aigua de xarxa serà destinada per a sufocar incendis en instal·lacions que no formin part del procés de producció, com oficines i àrea d'emmagatzematge de productes. És important disposar aquesta aigua amb un mínim de pressió per garantir certa seguretat a la planta. Aquesta aigua serà dipositada en un tanc de reserva d'uns 288 m³, que contindrà un volum de 222 m³ d'aigua.

- **Diòxid de carboni (CO₂)**

Aquest compost és utilitzat per la extinció d'incendis en l'àrea de producció. Els focs que es produeixin en qualsevol equip de procés, com en reactors o tancs d'emmagatzematge de reactius, s'ha d'apagar amb CO₂, que encara que sigui més costos que l'aigua és més adequat, ja que l'aigua no es favorable pel procés donat que el contacte d'aquesta amb els fluids de procés pot provocar reaccions molt exotèrmiques o danyar els catalitzadors. El sistema d'apagament d'incendis amb CO₂ es realitzarà amb extintors.

- **Novec 1230**

És un líquid no contaminant que s'utilitza com a agent gasós de extinció d'incendis. S'utilitza generalment com a substitut de l'aigua en extinció de focs, en els casos que aquest últim representi un perill per a equips electrònics. En la nostra planta es fa servir com a agent extintor en les àrees on s'hi troben instal·lats aparells electrònics, com l'àrea de control i l'estació transformadora.

5.3. Altres fluids

- **Nitrogen**

El nitrogen és un gas que funciona molt bé per el blanketing i la inertització d'equips. Quan es van buidant o omplint els tancs d'emmagatzematge o tancs pulmó i mescla, s'ha d'aplicar un cabal de nitrogen per compensar la pèrdua de pressió que es dona en el buidatge i l'ompliment. Pels tancs d'emmagatzematge es necessiten 500 Kg de nitrogen i en els tancs pulmó i mescla es requereixen 40 Kg de gas.

- **Aire comprimit**

Es subministra aire comprimit mitjançant un compressor de 30 KW que l'enviarà a les vàlvules de procés que ho requereixin. El cabal d'aire comprimit que es necessita és de 30 m³/h.

- **Gas natural**

El gas natural és una font d'energia fòssil que està formada per una mescla d'hidrocarburs, on el compost principal és el metà (CH_4). Aquest s'utilitza en la planta per proporcionar aigua calenta a les oficines com l'aigua de les dutxes o dels lavabos.

5.4. Electricitat

5.4.1. Introducció

Totes les indústries químiques requereixen electricitat per a que els equips funcionin correctament i a la vegada per a la il·luminació de la pròpia fàbrica. També s'ha de tenir en compte tota la instrumentació per al control dels diversos equips presents en la indústria.

L'empresa 'MOJMO' comprarà l'electricitat proporcionada com d'alta tensió i farà falta un transformador que transformi aquesta electricitat d'alta tensió a baixa tensió, ja que al llarg de la planta de producció del FREON-13 es requerirà un voltatge de 380 V.

Les línies elèctriques instal·lades en el procés corresponen a línies elèctriques trifàsiques amb aïllament per tal de ser protegits de qualsevol equip o instrument que pugui provocar qualsevol tipus de problema al tram elèctric. Una vegada la transformadora hagi passat d'una electricitat d'alta tensió a una de baixa, es disposarà d'una caixa de protecció, repartides segons la zona on s'especifiqui la seva distribució, mitjançant la utilització de fusibles.

També s'ha de tenir en compte de la simultaneïtat elèctrica, és a dir, el moment en el qual tots els equips estiguin en funcionament i requereixin l'electricitat màxima instal·lada.

5.4.2. Requeriment d'electricitat per zones

Seguidament es mostrarà el requeriment d'electricitat segons la zona a la qual pertany, juntament amb la seva secció i longitud de les línies que transportaran aquesta electricitat al lloc corresponent. Per a la secció del cable, es poden trobar segons la secció nominal, per això, les seccions nominals establertes varien entre 1 fins a 240.

Secció nominal	1	1,5	2,5	4
	6	10	16	25
	35	50	75	95
	120	185	240	-

ÀREA 100: Emmagatzemat de matèries primeres i productes

- **Magatzem matèries primeres**

Requeriment elèctric	Potència requerida (kW)
II·luminació	15 kW
II·luminació d'emergència	3 kW
P-101	0,18 kW
P-102	0,12 kW
P-103	1,40 kW
P-104	0,56 kW
TOTAL POTÈNCIA	20,26 kW

Variables	Valor obtingut
Longitud línia (m)	50 m
Intensitat (A)	36,2 A
Secció calc. (mm ²)	2,50 mm ²
Secció nom. (mm ²)	2,50 mm ²

- **Magatzem de productes**

Requeriment elèctric	Potència requerida (kW)
II·luminació	10,0 kW
II·luminació d'emergència	3,0 kW
TOTAL POTÈNCIA	13,0 kW

Variables	Valor obtingut
Longitud línia (m)	60 m
Intensitat (A)	23,2 A
Secció calc. (mm ²)	1,93 mm ²
Secció nom. (mm ²)	2,50 mm ²

ÀREA 200: Reactor de producció de FREON-12

Requeriment elèctric	Potència requerida (kW)
II·luminació	15 kW
II·luminació d'emergència	3 kW
R-201	3,44 kW
P-201	0,15 kW
P-202	0,15 kW
TOTAL POTÈNCIA	21,74 kW

Variables	Valor obtingut
Longitud línia (m)	55 m

Intensitat (A)	38,9 A
Secció calc. (mm²)	2,96 mm ²
Secció nom. (mm²)	4,00 mm ²

ÀREA 300: Separació de R-12 i producció d'HCl comercial

Requeriment elèctric	Potència requerida (kW)
II·luminació	20 kW
II·luminació d'emergència	4 kW
P-301	0,15 kW
P-302	0,17 kW
P-303	0,14 kW
P-304	0,14 kW
P-305	0,12 kW
P-306	0,12 kW
P-307	0,19 kW
P-308	0,11 kW
VE-301	2,50 kW
TM-301	4,60 kW
TOTAL POTÈNCIA	32,24 kW

Variables	Valor obtingut
Longitud línia (m)	80 m
Intensitat (A)	57,6 A
Secció calc. (mm²)	6,38 mm ²
Secció nom. (mm²)	10,00 mm ²

ÀREA 400: Reactor de producció de R-13

Requeriment elèctric	Potència requerida (kW)
II·luminació	15 kW
II·luminació d'emergència	3 kW
CO-401	87,9 kW
TOTAL POTÈNCIA	105,9 kW

Variables	Valor obtingut
Longitud línia (m)	50 m
Intensitat (A)	189,3 A
Secció calc. (mm²)	13,1 mm ²
Secció nom. (mm²)	16,00 mm ²

ÀREA 500: Purificació del R-13

Requeriment elèctric	Potència requerida (kW)
Il·luminació	20 kW
Il·luminació d'emergència	4 kW
P-501	0,18 kW
P-502	0,13 kW
P-503	0,13 kW
P-504	0,19 kW
P-505	0,12 kW
P-506	0,13 kW
P-507	0,13 kW
TOTAL POTÈNCIA	25,01 kW

Variables	Valor obtingut
Longitud línia (m)	85 m
Intensitat (A)	44,7 A
Secció calc. (mm²)	5,3 mm ²
Secció nom. (mm²)	6,00 mm ²

ÀREA 600: Serveis de planta

Requeriment elèctric	Potència requerida (kW)
Il·luminació	20 kW
Il·luminació d'emergència	4 kW
TR-601	30 kW
TR-602	30 kW
P-601	0,28 kW
Compressor aire comprimit	14,8 kW
TOTAL POTÈNCIA	99,08 kW

Variables	Valor obtingut
Longitud línia (m)	100 m
Intensitat (A)	177,1 A
Secció calc. (mm²)	24,5 mm ²
Secció nom. (mm²)	25,00 mm ²

ÀREA 700: Control

Requeriment elèctric	Potència requerida (kW)
Il·luminació (interior)	15 kW
Il·luminació d'emergència	3 kW
Aparells electrònics	20 kW
TOTAL POTÈNCIA	38,00 kW

Variables	Valor obtingut
Longitud línia (m)	45 m
Intensitat (A)	68,0 A
Secció calc. (mm ²)	4,2 mm ²
Secció nom. (mm ²)	6,00 mm ²

ÀREA 800: Contra incendis

Requeriment elèctric	Potència requerida (kW)
Il·luminació	15 kW
Il·luminació d'emergència	3 kW
TOTAL POTÈNCIA	18,00 kW

Variables	Valor obtingut
Longitud línia (m)	45 m
Intensitat (A)	32,2 A
Secció calc. (mm ²)	2,0 mm ²
Secció nom. (mm ²)	2,50 mm ²

ÀREA 900: Tractament de residus

Requeriment elèctric	Potència requerida (kW)
Il·luminació	5 kW
Il·luminació d'emergència	2 kW
TOTAL POTÈNCIA	7,00 kW

Variables	Valor obtingut
Longitud línia (m)	60 m
Intensitat (A)	12,5 A
Secció calc. (mm ²)	1,0 mm ²
Secció nom. (mm ²)	1,00 mm ²

ÀREA 1000: Laboratoris i vestuaris

Requeriment elèctric	Potència requerida (kW)
Il·luminació (interior)	15 kW
Il·luminació d'emergència	3 kW
Aparells electrònics	20 kW
TOTAL POTÈNCIA	38,00 kW

Variables	Valor obtingut
Longitud línia (m)	45 m
Intensitat (A)	68,0 A
Secció calc. (mm²)	4,2 mm ²
Secció nom. (mm²)	6,00 mm ²

ÀREA 1100: Oficines i menjador

Requeriment elèctric	Potència requerida (kW)
Il·luminació (interior)	15 kW
Il·luminació d'emergència	3 kW
Aparells electrònics	20 kW
TOTAL POTÈNCIA	38,00 kW

Variables	Valor obtingut
Longitud línia (m)	80 m
Intensitat (A)	68,0 A
Secció calc. (mm²)	7,5 mm ²
Secció nom. (mm²)	10,00 mm ²

ÀREA 1200: Pàrquing

Requeriment elèctric	Potència requerida (kW)
Il·luminació	5 kW
TOTAL POTÈNCIA	5,00 kW

Variables	Valor obtingut
Longitud línia (m)	200 m
Intensitat (A)	8,9 A
Secció calc. (mm²)	2,6 mm ²
Secció nom. (mm²)	4,00 mm ²

ÀREA 1300: Ampliació

Requeriment elèctric	Potència requerida (kW)
Il·luminació	5 kW
TOTAL POTÈNCIA	5,00 kW

Variables	Valor obtingut
Longitud línia (m)	300 m
Intensitat (A)	8,9 A
Secció calc. (mm²)	3,8 mm ²
Secció nom. (mm²)	4,00 mm ²

ÀREA 1400: Càrrega i descàrrega

Requeriment elèctric	Potència requerida (kW)
Il·luminació (interior)	5 kW
Il·luminació d'emergència	3 kW
Aparells electrònics	15 kW
TOTAL POTÈNCIA	23,00 kW

Variables	Valor obtingut
Longitud línia (m)	85 m
Intensitat (A)	41,1 A
Secció calc. (mm ²)	4,8 mm ²
Secció nom. (mm ²)	6,00 mm ²

5.4.3. Estació transformadora

La transformadora que cal instal·lar en la planta de producció del CClF₃ s'ha comprat en l'empresa *Ormazabal*, s'ha seleccionat una transformadora orgànica amb un líquid que és totalment biodegradable, adequats per el seu us tant en interior com en exterior i per xarxes de mitja tensió de fins 36 kV. Les seves característiques tècniques són les següents:

- Potència: 20-2800 kW
- Tensió primària: >36 kV
- Tensió secundària: 420 V



Figura 1.5.1. Estació transformadora.

La potència total requerida en la planta ha sigut de 489 kW. Per tant, l'empresa segons la potència requerida ens ofereix una estació transformadora de les següents característiques:

Taula 1.5.1. Característiques principals de la estació transformadora.

Alçada (mm)	1420
Llargada (mm)	1516
Amplada (mm)	916

5.4.4. Grups d'electrògens

Aquests equips s'instal·len en les indústries químiques per a proporcionar electricitat a tota la planta en el cas que hi hagués una fallada o una caiguda de tensió a la xarxa general elèctrica. Per tant, l'electricitat que ha de generar aquests grups ha de ser el necessari per a que els equips principals del procés, els sistemes de control i informàtics es trobin en funcionament encara que hi hagi qualsevol tipus de fallada en el circuit de la xarxa elèctrica.

El grup d'electrogen que cal instal·lar en la planta de producció del CClF_3 s'ha comprat en l'empresa *FGWilson*, s'ha seleccionat un grup d'electrogen del model *P800P1/P900E1*, on ens proporcionarà una potència de 640 kW i una potència d'emergència de 720 kW. Seguidament mostrarem una fotografia del grup instal·lat de la planta i les seves característiques principals:



Figura 5.4.4.1. Grup electrogen FGWilson P800P1/P900E1.

Taula 5.4.4.1. Característiques principals del grup FGWilson P800P1/P900E1.

Alçada (mm)	2371
Llargada (mm)	4280
Amplada (mm)	1912

Pes en sec (Kg)	6139
Pes en humit (Kg)	6245

- Potència i rendiment:

Taula 5.4.4.2. Dades de la potència i rendiment del grup electrogen FGWilson P800P1/P900E1.

Datos de potencia y rendimiento		
Marca y modelo del motor:	Perkins® 4006-23TAG3A	
Alternador fabricado para FG Wilson por:	Leroy Somer	
Modelo de alternador:	LL7024P	
Cuadro de control:	PowerWizard 1.1+	
Bancada:	Acero fabricado de gran resistencia	
Tipo de interruptor:	3 Pole ACB/MCCB	
Frecuencia:	50 Hz	60 Hz
Velocidad del motor: rpm	1500	1800
Capacidad del depósito de combustible: l (US gal)	1494 (394,7)	
Consumo de combustible: l/h (US gal/h) (carga 100%)		
- Continua	163,0 (43,1)	188,3 (49,7)
- Emergencia	183,5 (48,5)	211,9 (56,0)

- Tècniques del motor:

Taula 5.4.4.3. Dades tècniques del motor del grup electrogen FGWilson P800P1/P900E1.

Datos técnicos del motor		
N.º de cilindros/alineación:	6 / En línea	
Ciclo:	4 tiempo	
Diámetro/carrera: mm (in)	160.0 (6.3)/190.0 (7.5)	
Inducción:	Turbocargado y refrigerado aire/aire	
Método de enfriamiento:	Agua	
Tipo de regulador:	Electrónico	
Clase de regulador:	ISO 8528 G2	
Relación de compresión:	13.6:1	
Cilindrada: l (cu.in)	22,9 (1398,7)	
Momento de inercia: kg m² (lb/in²)	10,61 (36256)	
Sistema eléctrico del motor:		
- Tensión/tierra	24/Negativo	
- Amperios del cargador de baterías	55	
Peso: kg (lb)		
- En seco	2524 (5564)	
- En húmedo	2663 (5871)	

- Sistema de combustible:

Taula 5.4.4.4. Dades del sistema de combustible del grup electrogen FGWilson P800P1/P900E1.

Sistema de combustible

Tipo de filtro de combustible:

Elemento sustituible

Combustible recomendado:

Diésel clase A2 Diesel o BSEN590

Consumo de combustible:

l/h (US gal/h)

	110%	100%	75%	50%
Continua	Carga	Carga	Carga	Carga
50 Hz	179,4 (47,4)	163,0 (43,1)	123,6 (32,7)	88,2 (23,3)
60 Hz	211,9 (56,0)	188,3 (49,7)	138,9 (36,7)	96,3 (25,4)

	100%	75%	50%
Emergencia	Carga	Carga	Carga
50 Hz	183,5 (48,5)	137,9 (36,4)	96,8 (25,6)
60 Hz	211,9 (56,0)	154,6 (40,8)	105,1 (27,8)

- Sistema d'aire i refrigeració:

Taula 5.4.4.5. Dades del sistema d'aire i refrigeració del grup electrogen FGWilson P800P1/P900E1.

Sistema de aire	50 Hz	60 Hz
Tipo de filtro de aire:	Elemento sustituible	
Flujo de aire de combustión: m³/min (cfm)		
- Continua	69,0 (2437)	76,0 (2684)
- Emergencia	73,0 (2578)	78,0 (2755)
Restricción máx. en admisión del aire de combustión: kPa (En H ₂ O)	3,7 (14,9)	3,7 (14,9)

Sistema de refrigeración	50 Hz	60 Hz
Capacidad del sistema de refrigeración: l (US gal)	106,0 (28,0)	106,0 (28,0)
Tipo de bomba de agua:	Centrífugo	
Calor disipado en el agua y aceite lubricante: kW (Btu/min)		
- Continua	280,0 (15923)	309,0 (17573)
- Emergencia	310,0 (17629)	330,0 (18767)
Radiación de calor a la sala: Radiación de calor desde el motor y el alternador kW (Btu/min)		
- Continua	102,3 (5818)	112,6 (6403)
- Emergencia	116,1 (6602)	127,0 (7222)
Consumo del ventilador del radiador: kW (CV)	29,9 (40,1)	44,0 (59,0)
Flujo del aire de refrigeración del radiador: m³/min (cfm)	978,0 (34538)	1248,0 (44073)
Restricción externa en el caudal del aire de refrigeración: Pa (in H ₂ O)	250 (1,0)	250 (1,0)

- Sistema de lubricació:

Taula 5.4.4.6. Dades del sistema de lubricació del grup electrogen FGWilson P800P1/P900E1.

Sistema de lubricación	
Tipo de filtro de aceite:	De giro, flujo total
Capacidad total de aceite: l (US gal)	123,0 (32,5)
Capacidad del cárter: l (US gal)	113,4 (30,0)
Tipo de aceite:	API CG4 15W-40
Método de refrigeración del aceite:	Agua

- Sistema d'escapament:

Taula 5.4.4.7. Dades del sistema d'escapament del grup electrogen FGWilson P800P1/P900E1.

Sistema de escape	50 Hz	60 Hz
Máxima contrapresión permitida: kPa (en Hg)	7,0 (2,1)	7,0 (2,1)
Caudal de gases de escape: m ³ /min (cfm)		
- Continua	193,0 (6816)	209,0 (7381)
- Emergencia	193,0 (6816)	209,0 (7381)
Temperatura de gases de escape: °C (°F)		
- Continua	500 (932)	500 (932)
- Emergencia	500 (932)	500 (932)

- Dades físiques de l'alternador:

Taula 5.4.4.8. Dades físiques de l'alternador del grup electrogen FGWilson P800P1/P900E1.

Datos físicos del alternador	
Fabricado para FG Wilson por:	Leroy Somer
Modelo:	LL7024P
N.º de cojinetes:	1
Clase de aislamiento:	H
Código de paso del devanado:	2/3 - 6S
Cables:	6
Índice de protección contra entrada de elementos:	IP23
Sistema de excitación:	AREP
Modelo de AVR:	R450M

- Dades del funcionament de l'alternador:

Taula 5.4.4.9. Dades del funcionament de l'alternador del grup electrogen FGWilson P800P1/P900E1.

Datos de funcionamiento del alternador	
Sobrevelocidad: rpm	2250
Regulación de la tensión: (estado estable)	+/- 0.5%
Forma de onda NEMA = TIF:	50
Forma de onda IEC = THF:	2.0%
Contenido total de armónicos LL/LN:	4.0%
Radiointerferencia:	Supresión conforme a la norma europea EN61000-6
Calor radiado: kW (Btu/min)	
- 50 Hz	37,1 (2110)
- 60 Hz	37,0 (2104)

6. Diagrames del projecte

Per una fàcil comprensió i visualització del procés de fabricació de CFC-13 en la planta dissenyada, és quasi imprescindible la realització de diagrames que plasmin d'una forma simplificada el disseny del procés de producció.

Tot seguit es presenten els diagrames simplificats de blocs i de flux de la planta:

6.1. Diagrama de bloc

El diagrama de blocs representa d'una manera teòrica el procés de fabricació del CClF_3 , descrivint les seves principals etapes:

Primera etapa: consta del reactor catalític (RCTA) de producció de CFC-11 i CFC-12 en presència del catalitzador líquid SbCl_5 .

Segona etapa: està formada per dues columnes de destil·lació, en les que es duu a terme la separació del CFC-12 que s'introduirà al segon reactor del procés; i una columna d'absorció del HCl format utilitzant aigua com a fluid absorbidor.

Tercera etapa: la conforma el segon reactor del procés de producció, el reactor continu flux pistó de formació del producte desitjat, el CClF_3 , en presència del catalitzador sòlid AlCl_3 .

Quarta etapa: conté dues columnes de destil·lació per fer la purificació del producte final, el CFC-13

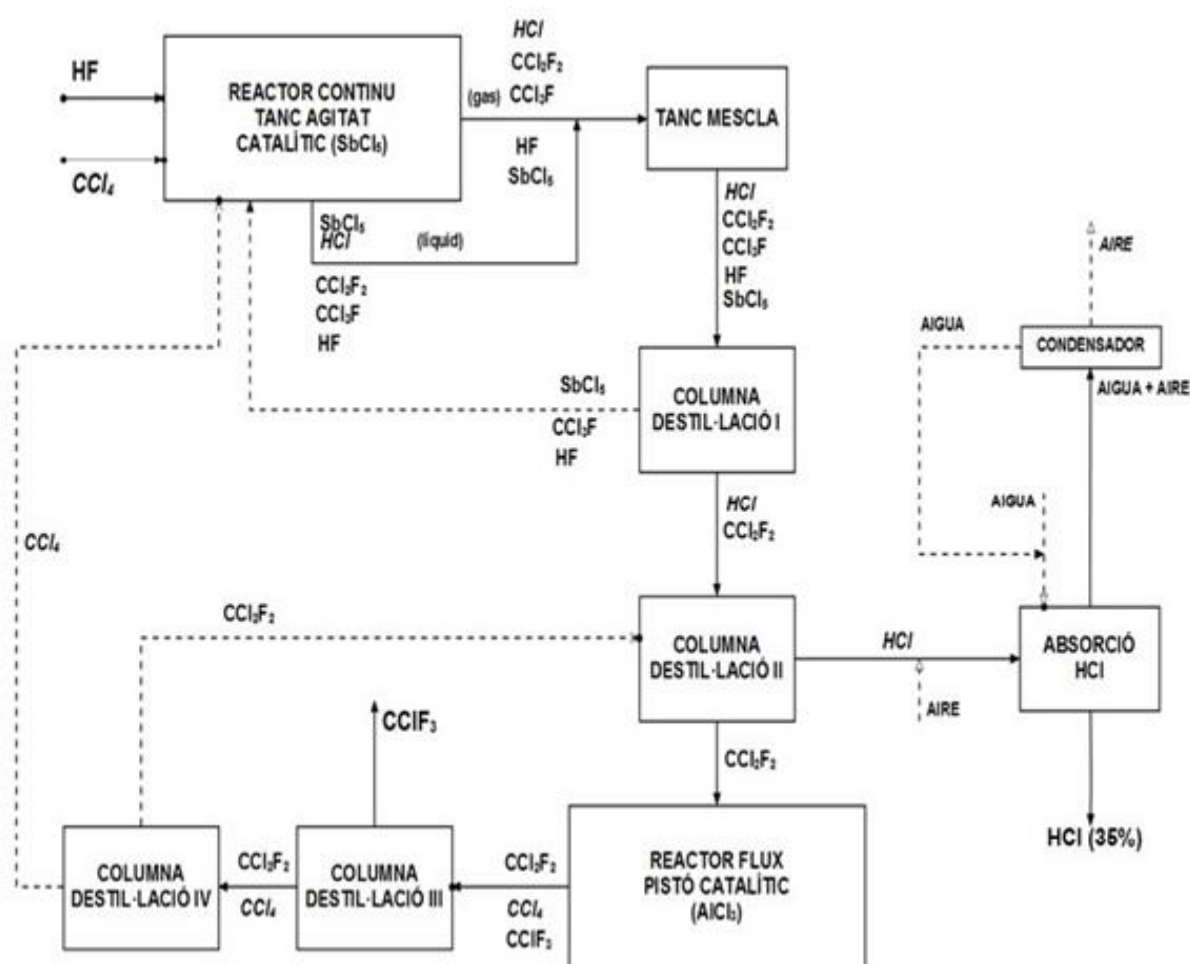


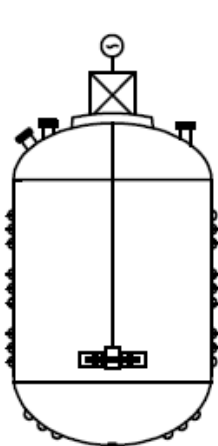
Figura 6.1.1. Diagrama de blocs del procés de producció de CClF_3 .

6.2. Diagrama de flux

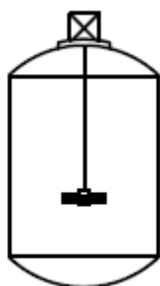
A continuació es mostra el diagrama de flux, on es descriu de forma general el procés de producció de CClF_3 i on s'observen els principals equips involucrats i els corrents d'entrada i sortida d'aquests.

La simbologia dels equips que mostra el diagrama de flux (figura 1.6.2) es detalla a continuació:

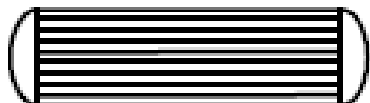
Reactor continu de tanc agitat (de formació de CFC-12):



Tanc mesclador:



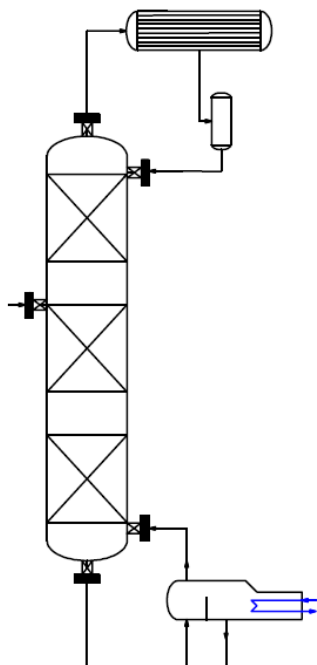
Bescanviador:



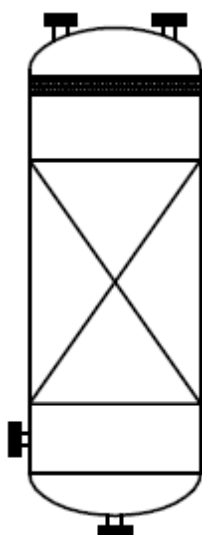
Reboiler:



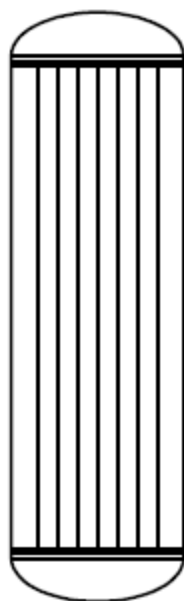
Columna de destil·lació:



Columna d'absorció:



Reactor continu flux pistó (de formació de CFC-13):



Tanc pulmó:



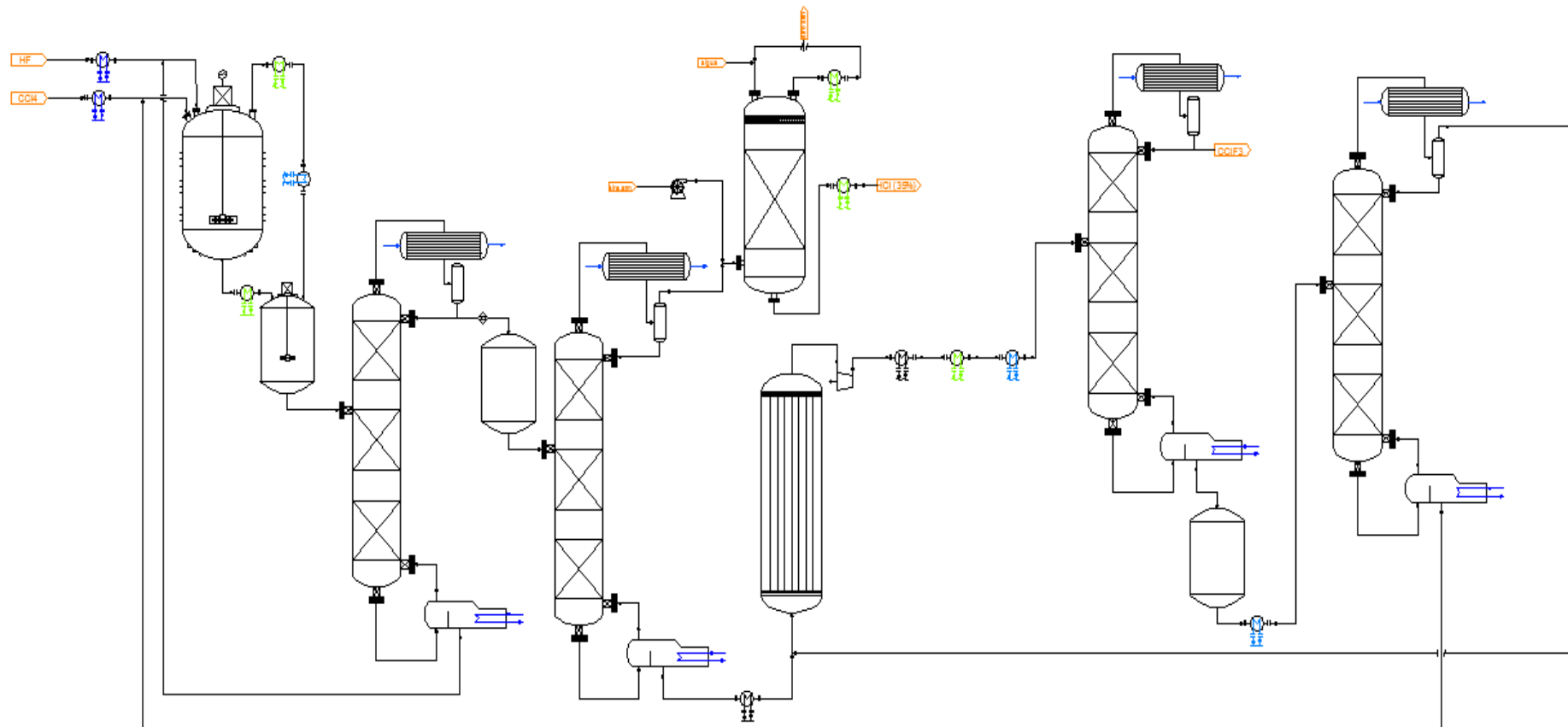


Figura 6.2.1. Diagrama de flux general.

7. Balanç de matèria

En un procés de producció d'una planta química és fonamental realitzar el balanç de matèria per conèixer els corrents d'entrada i sortida del nostre procés i comprovar d'aquesta manera que es conserva la matèria. El balanç de matèria permet un bon disseny de cada equip en particular i de tot el procés de producció en general.

A continuació es presenta el balanç de matèria del procés de producció de CFC-13, en el qual es troba informació sobre els cabals màssics dels components de tots el corrents del procés numerats i algunes de les seves propietats, com la temperatura, pressió, densitat i estat físic. Els corrents numerats es poden localitzar i seguir en el diagrama de procés que està a l'apartat de plànols del projecte.

Taula 7.1. Balanç de matèria de la planta de producció de CClF_3 .

CORRENTS	1	2	3	3a	4	5	6	6a	7	7a
Temperatura (°C)	25	25,5	99	95,2	25	26	44,1	76,3	90	35
Pressió (atm)	2	10	10	10	1	10	10	10	7,5	7,5
Densitat (Kg/m^3)	968	968	828	1322	1579	1579	1560	1484	16,5	26
ESTAT FÍSIC	L	L	L	L	L	L	L	L	G	G-L
CABALS MÀSSICS (Kg/h)										
HF	854,4	854,4	854,4	1295,7	-	-	-	-	420,7	420,7
CCl_4	-	-	-	-	2189,9	2189,9	2189,9	3287,8	-	2189,90
SbCl_5	-	-	-	956,8	-	-	-	-	451,9	451,9
HCl	-	-	-	-	-	-	-	-	1547,0	1547,0
FREON-11 (CCl_3F)	-	-	-	243,5	-	-	-	-	230,5	230,5
FREON-12 (CCl_2F_2)	-	-	-	-	-	-	-	-	2533,9	2533,9
FREON-13 (CClF_3)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Aigua	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Aire	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total (Kg/h)	854,4	854,4	854,4	2496,0	2189,9	2189,9	2189,9	3287,8	5184,0	5184,0

CORRENTS	8	9	10	11	13	14	15	16	17	18	19
Temperatura (°C)	-15	90	43	-15	88,6	93,8	93,8	93,8	-0,9	-28,2	-28,2
Pressió (atm)	7,5	10	10	7,5	7,5	7,5	7,5	10,0	7,5	7,5	7,5
Densitat (Kg/m³)	1287	2425	2529	1286	1045	8	1547	1548	24,2	1298	1298
ESTAT FÍSIC	L	L	L	L	L	G	L	L	G	L	L
CABALS MÀSSICS (Kg/h)											
HF	420,7	20,6	20,6	441,3	13201,9	12760,6	441,3	441,3	0,1	0,1	0,1
CCl ₄	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SbCl ₅	451,9	504,9	504,9	956,8	2200,6	1243,8	956,8	956,8	-	-	-
HCl	1547,0	9,8	9,8	9,8	-	-	-	-	2335,9	2335,9	2335,9
FREON-11 (CCl ₃ F)	230,5	13,0	13,0	243,5	5827,9	5584,4	243,5	243,5	0,1	0,1	-
FREON-12 (CCl ₂ F ₂)	2533,9	49,6	49,6	2583,5	33,8	33,8	-	-	3876,8	3876,8	3876,8
FREON-13 (CClF ₃)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Aigua	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Aire	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total (Kg/h)	5184,0	597,9	597,9	4234,9	21264,2	19622,6	1641,6	1641,6	6212,9	6212,9	6212,8

CORRENTS	20	21	22	23	23a	24	25	26	27	28	29
Temperatura (°C)	-28,2	-28,2	-28,2	-38,2	-38,2	-38,2	-38,2	25	-40,7	30	61
Pressió (atm)	7,5	7,5	8	8	8	8	8	1	1	1	1
Densitat (Kg/m³)	1298	1298	1292	16,8	1066	1066	16,8	1,2	1,9	996	1148
ESTAT FÍSIC	L	L	L	G	L	L	G	G	G	L	L
CABALS MÀSSICS (Kg/h)											
HF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CCl ₄	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SbCl ₅	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HCl	1556,8	1556,8	1556,8	2488	931,2	931,2	1556,8	-	1556,8	-	1556,8
FREON-11 (CCl ₃ F)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FREON-12 (CCl ₂ F ₂)	2583,5	2583,5	2583,5	-	-	-	-	-	-	-	-
FREON-13 (CClF ₃)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Aigua	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2900	2892,2
Aire	-	-	-	-	-	-	-	223,5	223,5	-	-
Total (Kg/h)	4140,3	4140,3	4140,3	2488	931,2	931,2	1556,8	223,5	1780,3	2900,0	4449,0

CORRENTS	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
Temperatura (°C)	96	35,4	35,4	31,2	33,3	33,3	33,3	142,9	125	125
Pressió (atm)	1	1	1	1	8	8	8	8	1,2	1,2
Densitat (Kg/m ³)	0,6	1,1	984	993	1278	45,9	1278	30,2	1370	4,6
ESTAT FÍSIC	G	G	L	L	L	G	L	G	G	G
CABALS MÀSSICS (Kg/h)										
HF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CCl ₄	-	-	-	-	-	-	-	-	3,2	1097,9
SbCl ₅	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HCl	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FREON-11 (CCl ₃ F)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FREON-12 (CCl ₂ F ₂)	-	-	-	-	10580	7996,5	2583,5	2583,5	2867,5	286,9
FREON-13 (CClF ₃)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1488,0
Aigua	887,3	-	887,3	887,3	-	-	-	-	-	-
Aire	223,5	223,5	-	-	-	-	-	-	-	-
Total (Kg/h)	1110,8	223,5	887,30	3779,5	10580	7996,5	2583,5	2583,5	2870,7	2872,8

CORRENTS	41	42	43	44	44a	45	46	47	48	48a	49
Temperatura (°C)	194	120,5	35	-15,2	-15,2	-35	-35	-35	-35	-34,6	54,8
Pressió (atm)	10	9,8	9,60	9,4	7	7	7	7	7	10	7
Densitat (Kg/m³)	33,2	40,9	780,00	1474	1474	44,2	1324	1324	1324	1325	1387
ESTAT FÍSIC	G	G	L-G	L	L	G	L	L	L	L	L
CABALS MÀSSICS (Kg/h)											
HF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CCl₄	1097,9	1097,9	1097,9	1097,9	1097,9	-	-	-	-	-	1696,4
SbCl₅	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HCl	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FREON-11 (CCl₃F)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FREON-12 (CCl₂F₂)	286,9	286,9	286,9	286,9	286,9	-	-	-	-	-	1791,7
FREON-13 (CClF₃)	1488,0	1488,0	1488,0	1488,0	1488,0	2595,0	2595,0	1107,0	1488,0	1488,0	1,0
Aigua	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Aire	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total (Kg/h)	2872,8	2872,8	2872,8	2872,8	2872,8	2595,0	2595,0	1107,0	1488,0	1488,0	1756,0

CORRENTS	50	51	52	53	54	54a	55	56	57	58	59	60
Temperatura (°C)	100	100	100	79,2	56,7	25,3	25,3	139,1	140,3	25,3	140,3	25,9
Pressió (atm)	7	7	7	5	5	5	5	5	5	5	5	10
Densitat (Kg/m³)	32,7	1370	1370	1419	24,9	1394	1394	1345	25,2	27,6	1343	1579
ESTAT FÍSIC	G	L	L	L	G	L	L	L	G	G	L	L
CABALS MÀSSICS (Kg/h)												
HF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CCl₄	598,5	1097,9	1097,9	1097,9	40,3	40,3	40,3	1752,8	654,9	-	1097,9	1097,9
SbCl₅	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HCl	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FREON-11 (CCl₃F)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FREON-12 (CCl₂F₂)	1504,8	286,9	286,9	286,9	397,9	111,0	111,0	10,8	10,8	286,9	-	-
FREON-13 (CClF₃)	1,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Aigua	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Aire	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total (Kg/h)	2104,3	1384,8	1384,8	1384,8	438,2	151,3	151,3	1763,6	665,7	286,9	1097,9	1097,9

Un cop presentada la taula del balanç de matèria es procedeix a fer la comprovació d'aquest balanç.

Taula 7.2: Comprovació del balanç de matèria

CORRENTS D'ENTRADA	Kg/h	CORRENTS DE SORTIDA	Kg/h
1	854,4	30	4449,0
4	2189,9	32	223,5
26	223,5	48a	1488,0
28	2900,0	-	-
TOTAL ENTRADES	6167,8	TOTAL SORTIDES	6160,5
% ERROR		0,12	

8. Possibles millores de la planta

En aquest apartat, s'esmentaran possibles millores que podrien satisfer que la planta de producció del FREON-13 sigui un procés més rendible econòmicament i industrialment. Seguidament s'exposaran una sèrie de punts que cal remarcar per tal de que la planta assegurés una major rendibilitat i eficiència:

- Degut al elevat preu del pentaclorur d'antimoni (SbCl_5) i el triclorur d'alumini (AlCl_3), es pensa en la producció d'aquests en la pròpia planta de producció del FREON-13, ja que el seus preus són de al voltant de 200\$/Kg i 550\$/Kg respectivament.
- Per tal de que sigui un procés més rendible, es pensa en la opció de producció de nitrogen, que és requerit en el vintè dels diferents equips del procés, on gran part d'aquests es troben a pressió, i per tant el cabal necessari és molt gran i en conseqüència els costos per compra de nitrogen serien molt elevats. Per tant, si es pretén que sigui un procés encara més rendible econòmicament, s'hauria de pensar en aquesta possibilitat.
- També es pensa en la construcció de la planta en un altre país degut a les taxes elevades que presenta l'estat espanyol. A més, la producció de FREON en Espanya es troba molt restringida i com a conseqüència la despesa econòmica per complir aquestes restriccions són més elevades (com són els tractaments mediambientals i de seguretat) que si s'implantés en un altre país sense gaires normatives.

